جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره شانزدهم، زمستان ۱۳۹٤

صص ٥٤-۳۹

ردیابی منابع گردوغبار در سطوح مختلف جوّ تهران با استفاده از مدل HYSPLIT

فهیمه محمدی[۱]ـ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

سمیه کمالی ـ کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

مریم اسکندری ـ کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹٤/۹/۹

چکیده

این تحقیق به‌منظور شناسایی منابع گردوغبار تهران با استفاده از مدلHYSPLIT و سیستم‌های گردشی جو در سطوح مختلف انجام گرفت. بررسی آماری سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۱ نشان داد، یکی از فراگیرترین وقایع گردوغباری در استان تهران در ماه می (اردیبهشت) سال ۲۰۰۰ رخ داده که بیش از ٤ روز در ایستگاه‌های آبعلی، چیتگر، فیروزکوه، کرج و تهران شمال تداوم داشته است. برای رسیدن به هدف ذکر شده که تعیین کانون‌های ذرات گردوغبار و مسیر حرکت آن‌ها می‌باشد، ابتدا با استفاده از داده‌های جوی سطح بالا شامل: باد مداری، باد نصف‌النهاری و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۸۵۰و ۷۰۰ هکتوپاسکال، نقشه‌های گردشی جو از دو روز قبل از وقوع توفان روز یک می (۳۰اردیبهشت) تا پایان روزهای دوم (۳۱اردیبهشت)، چهارم (۲ خرداد) و پنجم (۳ خرداد) ماه می مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از نقشه‌های گردشی جو سیستم‌های سینوپتیکی مؤثر در وقوع پدیده گردوغبار، جهت جریانات و سرعت آن‌ها تعیین گردید. مدلسازی با روش ردیابی پسگرد برای تعیین مسیر حرکت ذرات غباری در ٤۸ ساعت قبل از وقوع پدیده غبار در تهران، در سه سطح ارتفاعی ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری اجرا شد. با توجه به آنکه در فصل انتقالی بهار هنوز سیستم‌های فشار عرض‌های شمالی بر روی ایران فعال هستند، بنابراین در مطالعه حاضر نتایج تحقیق بدون اثر این سیستم‌ها نبوده است. مشاهدات تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان داد یکی از سیستم‌های فشاری مؤثر در وقوع گردوغبار و تعیین مسیر آن‌ها پرفشار مستقر بر روی عربستان است که در تمام روزهای غباری مورد مطالعه‌این سامانه حرکت و جابه‌جایی اندکی داشته و تقریباً به‌صورت یک سیستم دائمی در منطقه بوده است. سیستم فشاری مؤثر دیگر در وقوع گردوغبار روزهای یکم و دوم ماه می در تهران، کم‌فشار مستقر در شمال ایران می‌باشد. مطالعه مسیرهای انتقال ذرات از خروجی‌های مدل نشان داد که به‌طورکلی منابع اصلی غبار بر روی تهران در عرض‌های ۲۵ تا ۳۷ درجه شمالی، محدوده‌ای در حدفاصل عراق، عربستان و سوریه می‌باشد. بررسی ارتفاعی ذرات انتشار یافته نشان می‌دهد ذرات گردوغبار در لایه‌های بالایی به سمت ایران جریان پیدا کرده و در سطوح پائین‌تری به تهران رسیده است.

کلیدواژه‌ها: گردوغبار، HYSPLIT، منشایابی، تهران

---

۱ نویسنده مسئول۰۹۱۷۸۰۰۷۹۲۸ Email: F_Mohammadi@sbu.ac.ir

۱. مقدمه

آنچه در عصر کنونی مرزها را درمی‌نوردد و در سطح جهانی و به‌طور فراگیر تمامی ملت‌ها را تهدید می‌کند بحران‌های زیست‌محیطی و در رأس آن، آلودگی هوا و تغییرات غیرمنتظره آب‌وهوایی است. پدیده گردوغبار در سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک کره زمین رخ می‌دهد که با ویژگی‌های اقلیمی این مناطق ارتباط دارد. بر اساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی، هرگاه در ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه بیشتر شده و دید افقی به‌واسطه وجود ذرات گردوغبار به کمتر از یک کیلومتر برسد، توفان گردوغبار گزارش می‌شود (گودی و میدلتون[1]، ۲۰۰۶). توفان‌های بزرگ هنگامی رخ می‌دهند که خشکی طولانی‌مدتی حاکم و سطح خاک کاملاً خشک باشد و کمبود رطوبت و ناپایدار شدن هوا سبب تشکیل گردوغبار خواهد شد (عظیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۱). درواقع ایجاد گردوغبار می‌تواند نوعی واکنش به تغییر پوشش گیاهی زمین باشد (انگلستادلر[2]، ۲۰۰۱). در وقوع این توفان‌ها شدت و سرعت باد، خشکی هوا و ویژگی‌های ذرات نقشی تأثیرگذار دارند (علیجانی، ۱۳۷۶). گاه ذرات گردوغبار در مسافت‌های طولانی تحت تأثیر فرایندهای فیزیکی و شیمیایی با ذرات آلاینده دیگر ترکیب شده، ترکیباتی جدید پدید می‌آیند (ژایو و همکاران[3]،۲۰۱۰). مواد سمی حمل شده همراه غبار می‌تواند با نشستن روی پوست و ورود به مجاری تنفسی آسیب‌های پوستی و ریوی زیادی ایجاد کند (گودی و میدلتون،۲۰۰۶). استرس‌های تنفسی (خسروی و سلیقه، ۱۳۸۴)، افزایش مصرف الکتریسیته (عباسی و همکاران، ۱۳۷۸) و تعدیل در فرایندهای فتوشیمیایی (پروسپرو و همکاران[4]،۲۰۰۲) ازجمله موارد قابل اشاره دیگر است. بررسی و تحلیل توفان‌ها و ردیابی منابع گردوغباری با استفاده از روش‌های متفاوتی انجام شده است. انگستادلر (۲۰۰۱) در ارتباط با فراوانی وقوع توفان‌های گردوغبار در جهان بر نقش بستر دریاچه‌ها و صحرای بزرگ آفریقا به‌عنوان تولیدکنندگان اصلی گردوغبار تأکید می‌کند و صحرای شمال آفریقا را بیش از هر بیابان دیگری در وقوع توفان‌های گردوغباری در دنیا مؤثر می‌داند. مطالعه توفان‌های گردوغبار کشور مغولستان، نشان داده است که بیشترین فراوانی وقوع توفان‌ها در غرب مغولستان، تحت تأثیر بیابان گبی و دریاچه‌های بزرگ غرب مغولستان می‌باشد (ناتساگدورج و همکاران[5]، ۲۰۰۲). وانگ[6] (۲۰۰۵) ویژگی‌های سینوپتیک حاکم بر تشکیل توفان‌های گردوغبار شمال شرق آسیا را مورد مطالعه قرار داده است. نتایج وی نشان داد که یک توفان گردوغبار در این منطقه همیشه با یک سیستم کم‌فشار یا چرخند همراه است که میزان گردوغبار در قطاع گرم سیکلون به حداکثر خود می‌رسد. ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴) وقوع توفان در منطقه جنوب غرب ایران را قرار گرفتن

1 Goudie & Mideleton
2 Engelstadler
3 Zhao
4 Prospero
5 Natsagdorj
6 Wang

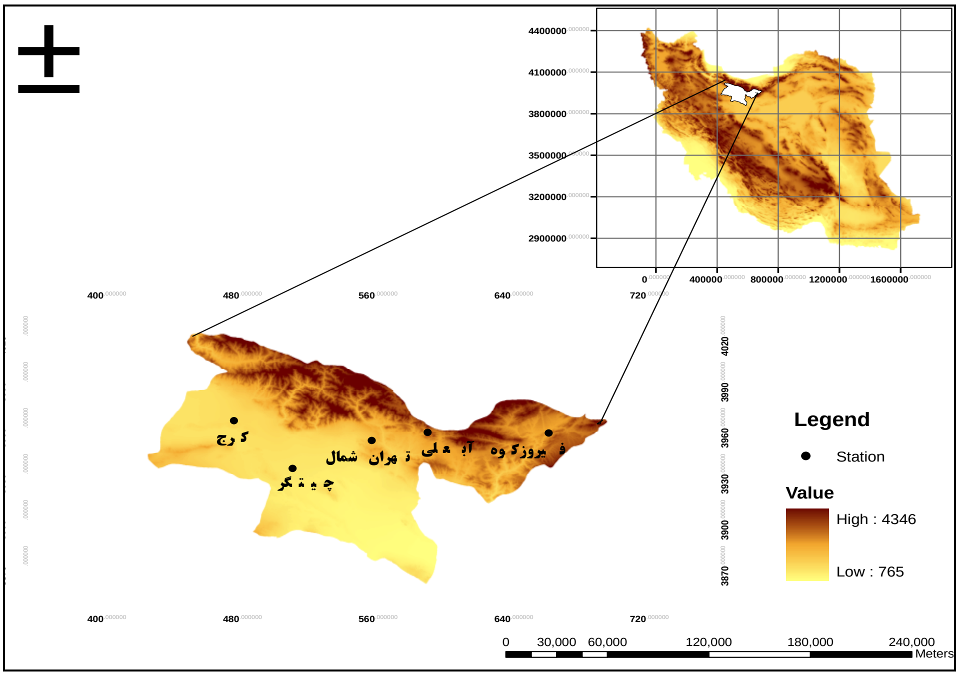
این منطقه در مسیر جریانات جوی می‌داند که گردوغبار را از کشور عراق و مناطق خشک این کشور به منطقه غرب ایران انتقال می‌دهد. امیدوار (١٣٨٥) با تحلیل سینوپتیکی توفان‌های ماسه دشت یزد-اردکان به این نتیجه رسید، کم‌فشارهای دینامیکی همراه با جبهه سرد، جریان‌های قائمی به‌صورت ناپایداری شدید جوی ایجاد شده که این منجر به توفان‌های شدید ماسه در منطقه گردیده است. لشکری و همکاران (١٣٨٧) به تحلیل سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی ١٩٣٣-٢٠٠٥ پرداخته‌اند. پس از تعیین بیشترین و کمترین میزان توفان در ایستگاه، این نتیجه به دست آمد که شیو فشار و گرمایی بالا، سبب وزش بادهای شدیدی بخصوص در نیمه جنوبی استان خراسان رضوی شده است. عبدی ویشکایه و همکاران (٢٠١١) با بررسی توزیع عمودی انتشار گردوغبار و منابع آن در تابستان ٢٠٠٧ بر روی شمال‌غرب ایران با استفاده از مدل HYSPLIT[1] نشان دادند، که منابع گردوغبار ایران در ٣-٥ ماه اوت از سوریه – عراق و منطقه قم (دریاچه نمک در نزدیکی دشت کویر) می‌باشد. این رخداد پاسخی به وزش بادهای قوی شمال از ناحیه دشت کویر قم است؛ اما گردوغبار ناشی از ماه سپتامبر (١١-١٣) در زنجان و تهران با توزیع عمودی در سطوح پایین جوی ناشی از عراق بوده است. نتایج مطالعه مفیدی و جعفری (١٣٩٠) نشان داد، الگوی ناوه موج غربی، انتقال گردوغبار را در سطوحی گسترده به مناطق جنوب غرب ایران فراهم می‌کند. خروجی‌های مدل HYSPLIT در این مطالعه محدوده‌ای در حد فاصل مرکز تا شمال عراق، شرق سوریه تا شمال عربستان را منابع اصلی تأمین ذرات این توفان‌ها تعیین کرد. اشرفی و همکاران (١٣٩٠) به بررسی مسیر توفان‌های گردوغبار بر فراز ایران پرداخته‌اند. در این کار تحقیقی از مدل HYSPLIT برای تعیین منبع و چگونگی حرکت توده‌های گردوخاک استفاده نمودند. بر اساس ماژول الگوریتم انتشار ذرات PM10 منابع اصلی تأمین‌کننده ذرات توفان خاک و ماسه ٦ تا ١٠ ژوئن، بر فراز اهواز از مناطق غرب عراق، مرز اردن و عربستان نشأت گرفته‌اند. مفیدی و همکاران در ارزیابی توانایی مدل RegCM4 به آشکارسازی ساختار توفان‌های گردوغباری تابستانه دشت سیستان پرداختند. در این مطالعه مدل مقیاس منطقه‌ای RegCM را با طرحواره غبار جفت شده است. خروجی‌های مدل نشان دادند که وقوع توفان‌های گردوغباری نتیجه شکل‌گیری و استقرار همزمان کم‌فشاری در دشت سیستان و مرکز پرفشاری بر جانب شرقی دریای خزر تا بخش‌های شمال شرق ایران است که با شکل‌گیری مرکز پرفشار در محدوده کوه‌های خراسان جنوبی همراه است (١٣٩٢). در مطالعه‌ای توسط حسین زاده و مرادیان (١٣٩٤) پدیده گردوغبار برای یک دوره آماری از ٢٠٠٩ تا ٢٠١٣ از طریقِ پردازش تصاویر ماهواره‌ای مودیس و با کاربرد شاخص دمای درخشایی، بارزسازی غبار و قلمرو آلوده به آن بر روی شهر مشهد انجام شده است. در جهت تحلیل علل سینوپتیک وقوع گردوغبار، نقشه‌های جوی در مقیاس سینوپتیک با نرم‌افزار Grads ترسیم شده است و همچنین برای تعیین مناطق منشأ غبار، مدل جریانی HYSPLIT به روش پسگرد، طی ٢٤ ساعت قبل از وقوع برای روزهای آماری مورد مطالعه اجرا گردیده است. نتایج تحقیق نشان داد، که عمدهٔ نواحی منشأ غبار روی شهر مشهد طی دورهٔ

1 Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model.

گرم سال، در شرق و شمال شرق یعنی بیابان‌های ترکمنستان و همچنین اراضی تغییر یافتهٔ دشت‌های شمال شرق کشور قرار دارد. در دورهٔ سرد سال نیز بیشتر نواحی شمال غربی شهر مشهد و از شرق دریای خزر با فراوانی کمتر تودهٔ گردوغبار به سمت شهر مشهد کشیده می‌شوند. مطالعات کوتیل و فورمن[۱] (۲۰۰۳) نشان داد که بالاترین فراوانی وقوع توفان‌های گردوغبار در خاورمیانه در مناطق ایران، سودان، عراق و عربستان می‌باشد؛ بنابراین در این پژوهش هدف از بررسی پدیده گردوغبار وارد شده به پایتخت ایران با روش‌های آماری- سینوپتیکی و استفاده از مدل ردیابی منبع گردوغبار شناسایی مناطق مستعد انتشار ذرات غباری می‌باشد.

۲. محدوده مورد مطالعه

مطالعه حاضر در محدوده استان تهران، پایتخت ایران، بر روی ۵ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی تهران، فیروزکوه، چیتگر، کرج و آبعلی انجام شده است(شکل ۱).



شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه استان تهران

۳. مواد و روش‌ها

سه فاز مجزای آماری، سینوپتیکی و مدل‌سازی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

1 Kutiel & Furman

– فاز اول

این مرحله از مطالعات با بررسی آماری بر روی داده‌های مشاهداتی ۵ ایستگاه ذکر شده در بخش محدوده مورد مطالعه در دوره ۲۰۰۵–۱۹۸۱ انجام گرفته است. داده‌های روزانه گردوغبار و دید کمتر از ۲ کیلومتر از سازمان هواشناسی تهران دریافت و توزیع فراوانی گردوغبار ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شده است.

– فاز دوم

وضعیت پوشش گیاهی تهران با استفاده از داده‌های کاربری اراضی برگرفته شده از مرکز بین‌المللی فیزیک نظری عبدالسلام[۱] بررسی شد. وضعیت جو در سطوح فشاری ۸۵۰ ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، با استفاده از پارامترهای جوی باد مداری، باد نصف‌النهاری و ارتفاع ژئوپتانسیل با شبکه‌بندی ۲٫۵ × ۲٫۵ درجه در سه تراز فشاری از مرکز ملی اقیانوسی و جو آمریکا[۲](NCEP/NCAR) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

– فاز سوم

مدل HYSPLIT

مدل HYSPLIT مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گردوغبار، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای PUFF و ذرات است (دراکسلر[۳] و همکاران، ۲۰۰۹). در این مدل محاسبه مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی انجام می‌گیرد (اسکودرو[٤] و همکاران، ٢٠٠٦). روش محاسبهٔ مدل، ترکیبی میان دیدگاه‌های اویلری (مجموع غلظت ذرات برای هر شبکه در طول مسیر حرکت تعیین می‌گردد) و لاگرانژی (مجموع غلظت ذرات برای هر شبکه با استفاده از حرکات پخش و انتقال ذرات تعیین می‌شود) است و به همین دلیل HYSPLIT را مدلی دوگانه می‌نامند (شان[۵] و همکاران، ۲۰۰۹). در بعد مدل سازی گردوغبار لازم است مناطقی که منابع انتشار هستند مشخص گردد. در این مدل به‌صورت پیش‌فرض مناطقی که دارای کاربری بیابانی هستند تعریف شده‌اند. با توجه به نوع خاک سطحی (ماسه‌ای، شنی، سیلت، رس و ...)، این مناطق دارای حساسیت خاصی به فرسایش بادی هستند. پس از تعیین منابع بیابانی، با انجام تنظیمات مدل و ورود داده‌های هواشناسی مدل‌سازی شروع می‌گردد. داده‌های هواشناسی مدل را می‌توان از داده‌های دوباره تحلیل شده مرکز ملی اقیانوسی وجو آمریکا[٦]، داده‌های تحلیل شده GDAS[۷] و یا مدل‌های میان مقیاس جوی مثل MM5[۸] و یا WRF[۹]

1 International Center Theoretical Physics
2 National Centers For Environmental Prediction/National Center For Atmospheric Research
3 Draxler
4 Escudero
5 Shan
6 NCAR/NCEP Reanalysis Data
7 Global Data Assimilation System
8 Mesoscale Model
9 Weather Research and Forecasting

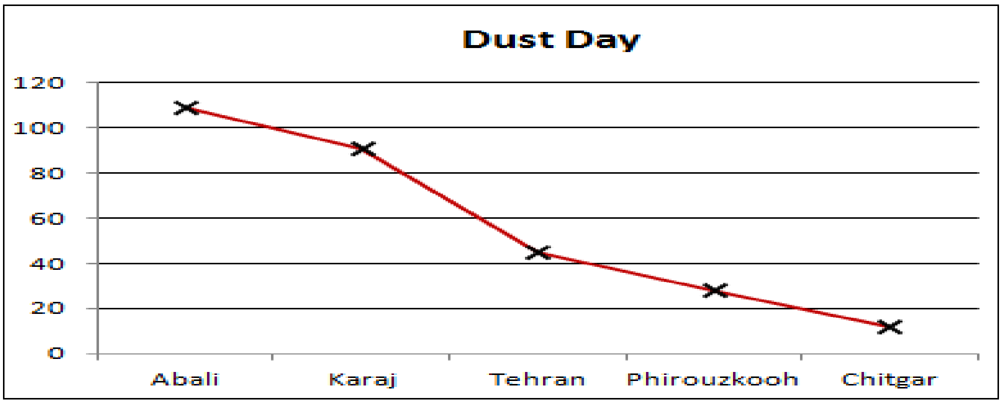
به دست آورد که این مدل‌های میان مقیاس میدان‌های پیوسته‌ای را برای شرایط هواشناسی فراهم می‌آورند. دقت مدل در مطالعه تا حدود زیادی بسته به داده‌های هواشناسی است و هرچه دقت و تفکیک داده‌های هواشناسی بالاتر باشد، نتایج دقیق‌تر خواهد بود (اشرفی و همکاران، ١٣٩٢). در این مطالعه از داده‌های هواشناسی دوباره تحلیل شده که از طرف مرکز NCAR/NCEP فراهم گردیده استفاده شده است. به جز داده‌های هواشناسی لازم است مواردی از قبیل: زمان شروع، تعداد و مختصات (طول، عرض و ارتفاع مورد نظر) نقاط آغاز، زمان کل اجرا، جهت حرکت (حرکت رو به عقب (پسرو[1]) یا رو به جلو (پیشرو[2])، تراز بالای مدل، (ترازی که بالاتر از آن، ارتفاع در محاسبات حذف خواهد شد) که به‌طورمعمول و پیش‌فرض برابر ١٠٠٠٠ متر بالای سطح زمین در نظر گرفته می‌شود، چگونگی حرکت عمودی (مدل دارای توانایی محاسبه حرکت عمودی توده با روش‌های متفاوتی است که داده‌های پیوسته ورودی بهترین گزینه خواهد بود) در مدل نیز وارد گردد؛ بنابراین این مطالعه موردی بر مبنای مدل الگوریتم انتشار برای روزهای یکم تا پنجم ماه می سال ٢٠٠٠ در سطح فشاری و برای سه تراز ارتفاعی ١٠٠، ٥٠٠، ١٠٠٠ متر بررسی شده است. حرکت رو به عقب ذره غبار در ٤٨ ساعت قبل از ورود به منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است.

٤. بحث و نتایج

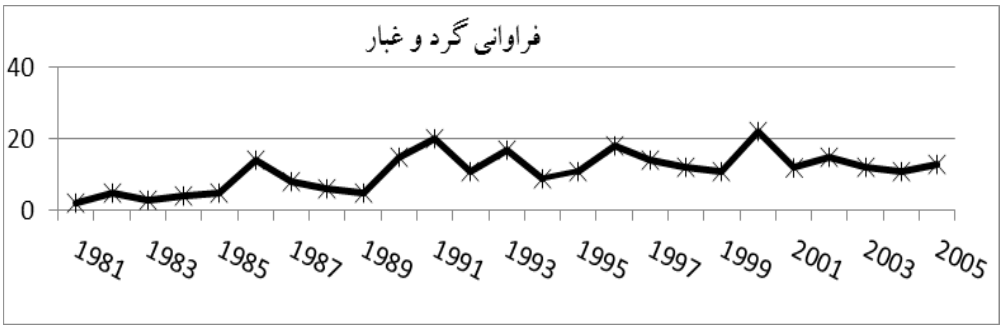
در بررسی فراوانی وقوع گردوغبار ٥ ایستگاه تهران در طول ٢٤ سال، ایستگاه آبعلی با بالاترین ارتفاع (٢٤٦٥ متر) بیشترین روزهای گردوغباری (١٠٩ روز) و ایستگاه چیتگر با پایین‌ترین ارتفاع (١٣٠٥متر) کمترین روزهای گردوغباری (١٢ روز) را به خود اختصاص داده است. ایستگاه‌های کرج، تهران و فیروزکوه به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین فراوانی‌ها هستند (شکل ٢). بررسی این دوره آماری نشان داد، ماه می در سال ٢٠٠٠ بیشترین فراوانی وقوع را در تمامی ایستگاه‌ها داشته است؛ بنابراین این ماه از سال برای انجام مدل سازی انتخاب شد (شکل ٣). نتایج توزیع فصلی گردوغبار نشان می‌دهد که تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها کمترین میزان گردوغبار مربوط به فصل‌های تابستان و پاییز و بیشترین میزان وقوع پدیده در فصل‌های بهار و زمستان است. ایستگاه آبعلی، در فصل زمستان بیشترین فراوانی وقوع گردوغبار (٥٦درصد) و در فصل تابستان کمترین فراوانی (٢ درصد) را داراست. برای ایستگاه فیروزکوه بیشترین میزان وقوع گردوغبار در فصل بهار ٦٤ درصد و کمترین میزان وقوع پدیده در فصل تابستان ٦ درصد است (جدول ١). ازآنجایی‌که بارندگی برای توسعه و یا تعدیل پدیده گردوغبار یک عنصر حیاتی بشمار می‌رود و به دنبال آن رطوبت سطحی زمین و پوشش گیاهی مناسب در یک منطقه نیز تحت تأثیر بارندگی هستند. حتی با وجود مقادیر کوچکی از رطوبت خاک، به‌شدت فرسایش بادی درون منطقه‌ای محدود خواهد شد؛ بنابراین وقوع پدیده گردوغبار در ایستگاه‌های مذکور در فصل بهار و زمستان (دوره مرطوب) نسبت به فصل تابستان (دوره خشک) گویای این مطلب است که علت

1 Backward
2 Forward

وقوع پدیده گردوغبار ایستگاه‌ها می‌تواند وجود یک منبع غیر محلی یا منبع برون منطقه‌ای باشد؛ بنابراین در ادامه تحقیق روند دست یافتن به منبع ریز گردها که هدف اصلی این پژوهش بوده، آورده شده است.



شکل ۲ روزهای گردوغباری در طول ٢٤ سال آماری



شکل ۳ فراوانی گردوغبار سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری ۱۹۸۱–۲۰۰۵

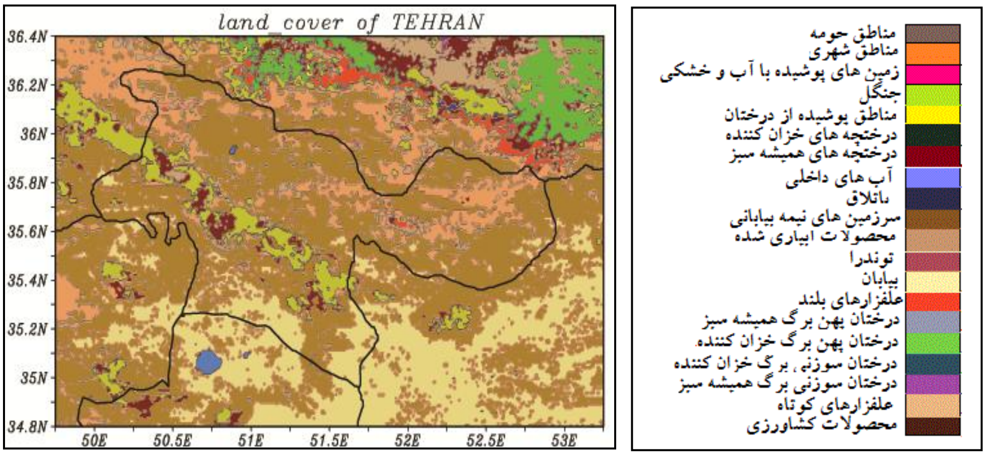
جدول ۱ توزیع فصلی فراوانی روزهای گردوغباری (%)

ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
آبعلی	۲۹	۲	۱۳	٥٦
کرج	۳۲	۲۷	۳۰	۱۱
تهران	٥٦	۱۱	۹	٢٤
چیتگر	۱۹	۰	۲	۷۹
فیروزکوه	٦٤	٦	۱۷	۱۳

بررسی توپوگرافی و پوشش زمین

به اعتقاد انگلستادلر (۲۰۰۱) تراکم و ساختار گیاهان دو عامل کنترل‌کننده اساسی در وقوع و فراوانی توفان‌های گردوغبار می‌باشند. درواقع ایجاد گردوغبار می‌تواند نوعی واکنش به تغییر پوشش گیاهی زمین باشد؛ بنابراین تأثیر پوشش زمین در تأمین منابع گردوغبار و

افزایش یا کاهش غلظت آئروسل‌ها در منطقه تهران بررسی گردید (شکل شماره ٤). بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر وسعت منطقه را پوشش بیابانی و نیمه بیابانی شامل می‌شود؛ بنابراین منطقه مورد مطالعه می‌تواند مستعد تولید غبار محلی نیز باشد.

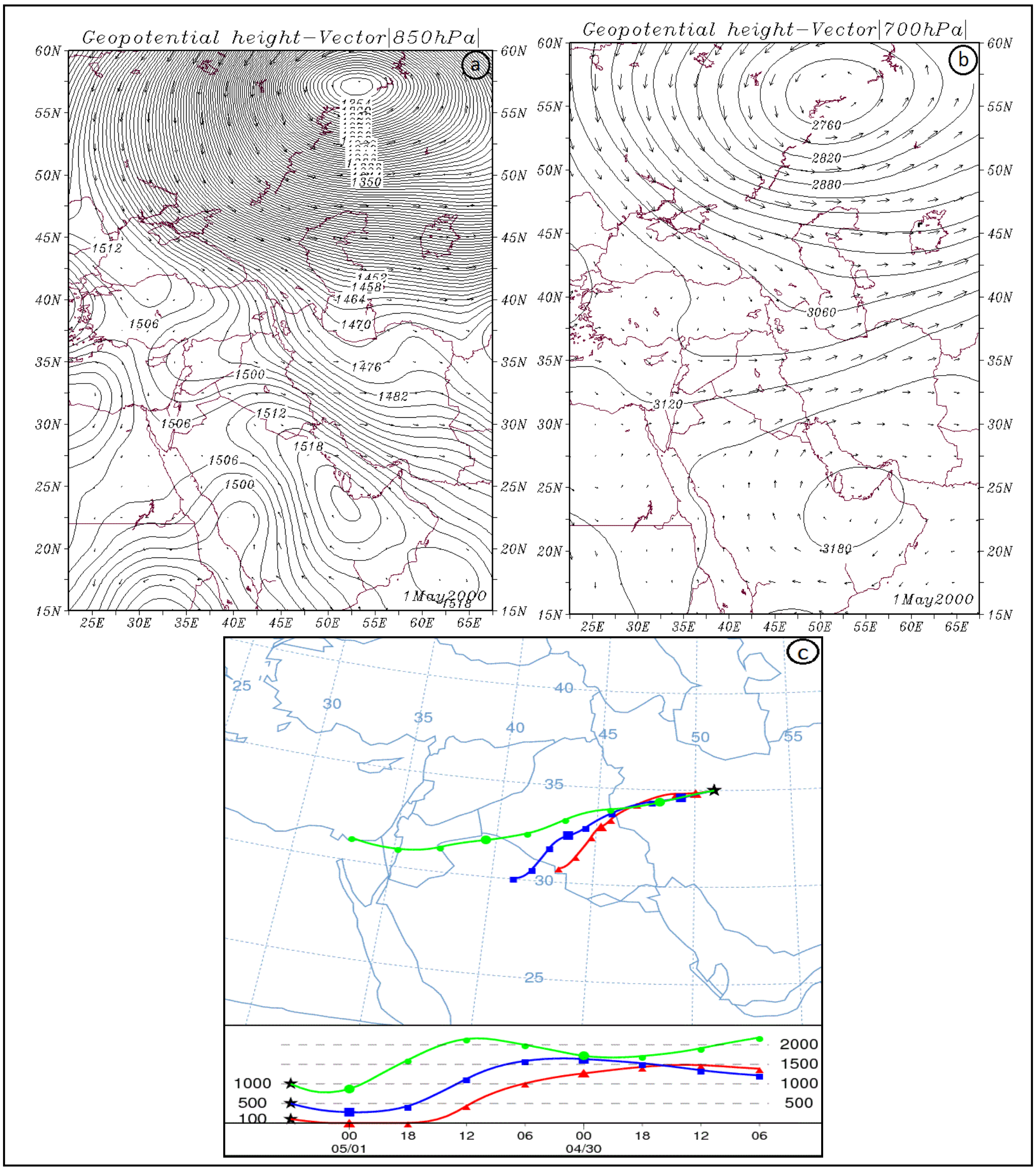


شکل ٤ پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه (منبع: نویسندگان)

مطالعه همدیدی، تعیین منابع و مسیر گردوغبار با مدل Hysplit

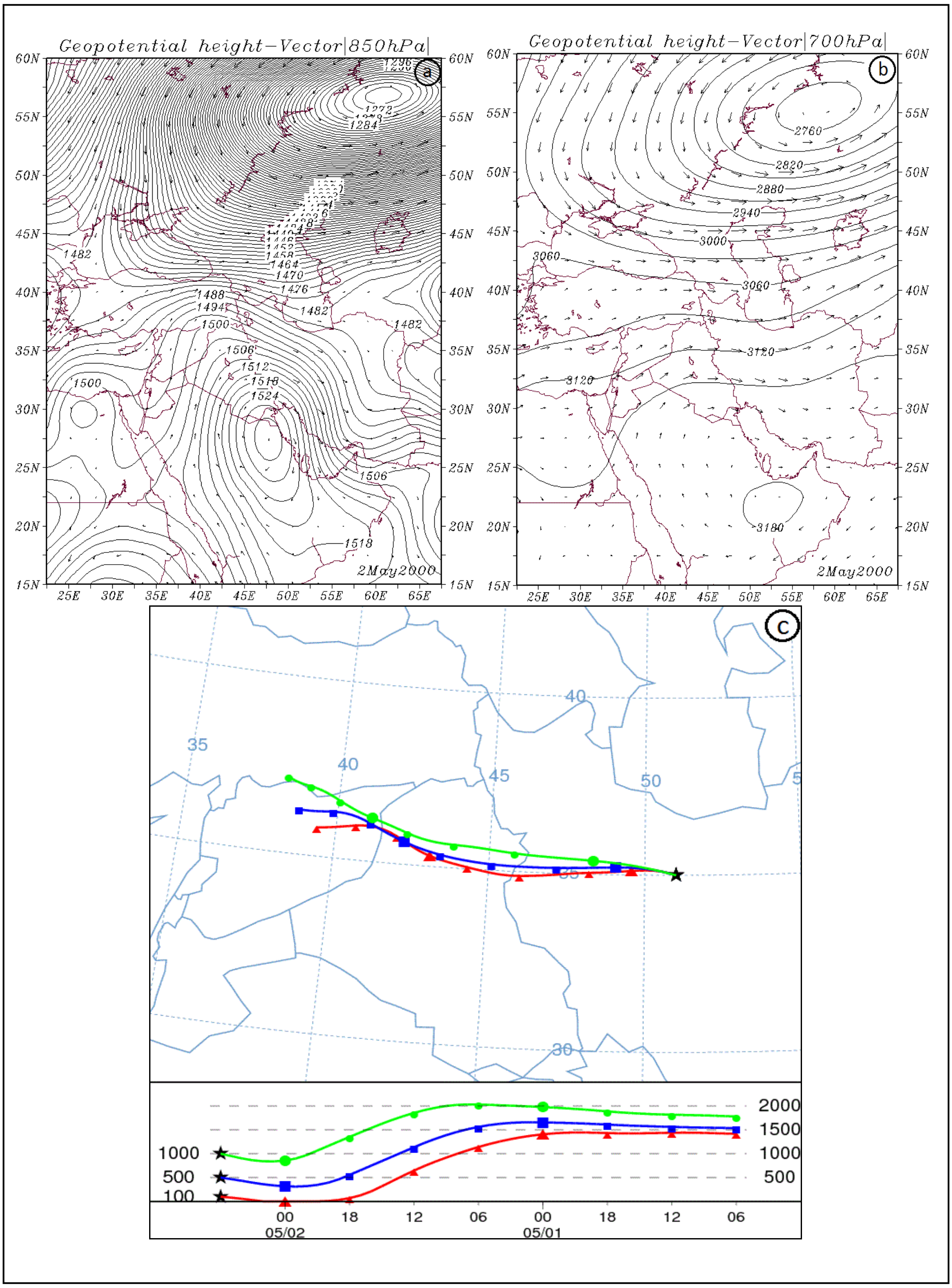
با توجه به بررسی‌های آماری انجام شده، روزهای یکم تا پنجم ماه می سال ٢٠٠٠ به علت تداوم وجود گردوغبار و غلظت بالای آن در کل ایستگاه‌های انتخابی برای بررسی‌های همدیدی و تعیین منابع بر مبنای ماژول الگوریتم انتشار مدل HYSPLIT انتخاب شدند. جهت بررسی‌های همدیدی، نقشه ترکیبی مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و باد برداری در ترازهای فشاری ٨٥٠، ٧٠٠ و ٥٠٠ رسم گردید. ترازهای فشاری ٥٠٠ و ٧٠٠ نتایج مشابهی را از مؤلفه‌های ذکر شده نشان دادند. درمجموع بررسی نقشه‌ها از سه تراز ذکر شده نقشه‌های سطح ٧٠٠ هکتوپاسکال بهتر توانستند علل وقوع پدیده گردوغبار تهران در دوره مورد مطالعه را نشان دهند. تحلیل مؤلفه‌ها در این تراز فشاری از دو روز قبل از وقوع گردوغبار، در روز یک می نشان می‌دهد شکل‌گیری دو سیستم کم‌فشار در شمال‌شرق ایران با فشار مرکزی حدود ٢٨٢٠ ژئوپتانسیل متر در ٦٠ درجه شمالی و سیستم پرفشار در قسمت جنوب غرب ایران با فشار مرکزی ٣١٨٠ ژئوپتانسیل در ٢٢ درجه شمالی، به ترتیب دارای حرکت‌های جنوب سو و شمال سویی هستند، امتداد این حرکت‌ها در عرض‌های ٣٢ تا ٤٠ درجه شمالی باعث فشرده‌تر شدن خطوط فشار و بالارفتن سرعت‌های باد شده است (شکل٥–ب). در یک می هنگام وقوع گردوغبار روی منطقه ایران و تهران در تراز ٧٠٠ هکتوپاسکال جو سیستم‌های فشاری مؤثر قوی‌تر شده بطوریکه سیستم کم‌فشار با فشار مرکزی ٢٧٦٠ ژئوپتانسیل متر با حرکت جنوب سوی خود در ٥٥ درجه شمالی قرار گرفته است که زبانه‌های این مرکز قوی با ایجاد اختلاف فشاری با سیستم پرفشار واقع در عرض‌های پائینی سرعت‌های باد را در محدوده ٣٢ تا ٤٠ درجه شمالی افزایش داده است. بردارهای باد جهتی شرق سو در منطقه را نمایان می‌کند. ناوه ای بر روی این نقشه مشخص می‌باشد که محور آن در عرض حدود ٣٨ درجه شمالی و طول ٣٠ تا ٣٥ درجه شرقی موجب ناپایداری بر روی مناطق تحت تأثیر گردیده که این ناپایداری‌ها به علت کمبود رطوبت توفان گردوغباری را منجر شده است و ذرات این توفان بر روی تهران سبب آلودگی و

کاهش دید شده است (شکل ۵–ب). هرچند نقشه تراز ۸۵۰ نیز وجود این دو سیستم فشاری متفاوت را به‌خوبی نشان می‌دهد که تحت تأثیر این دو سیستم، اختلاف فشار بر روی منطقه افزایش یافته است، اما مؤلفه باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال سرعت‌های بیشتری از تراز ۸۵۰ را داراست (شکل ۵–آ). با در نظر گرفتن بررسی‌های همدیدی انجام شده و خروجی مدل Hysplit، سازوکار اصلی انتقال ذرات غبار در محدوده‌ای در حد فاصل شرق و جنوب شرق مدیترانه، عربستان و عراق به منطقه مورد مطالعه بوده است. در الگوی فشاری مستقر بر روی منطقه در زمان وقوع گردوغبار، مسیرهای انتقال ذرات در سه سطح ۱۰۰،۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری تابعی از مسیر و جهت حرکت باد غربی می‌باشد (شکل ۵–ب).

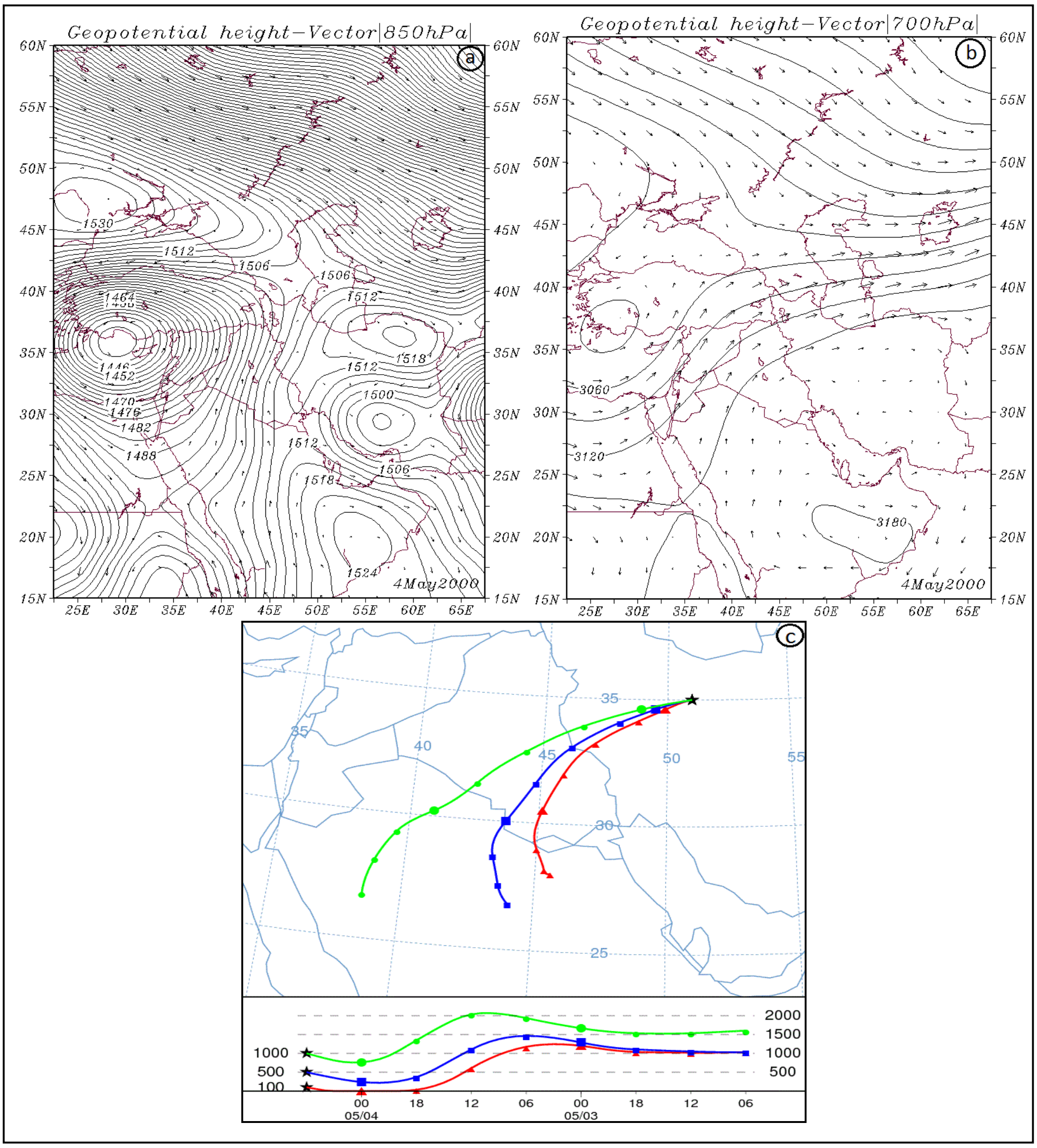


شکل ۵ وضعیت متوسط روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد برداری در روز یک می سال ۲۰۰۰، در دو تراز فشاری ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال (b,a) و نقشه ردیابی ذرات گردوغبار HYSPLIT (c)

نکته مهم دیگری که از بررسی خروجی‌های مدل در ۲۴ ساعت قبل تا یک می به دست آمد، این است که تا ساعات اولیه روز یک می، انتقال ذرات به‌صورت افقی و در ارتفاعات بالاتر از ۱۰۰۰ متر رخ داده است. انتقال ذرات با امتداد جریانات به سمت شرق، در ساعات اولیه روز یک می حرکت بالاسو داشته است. بطوریکه در مواردی تا ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر نیز کشیده شده‌اند. این در حالی است که امتداد جریانات تا پایان روز، روند یکنواختی نداشته و در ساعات میانی و پایانی روز حرکت ذرات غباری به سمت لایه‌های پائینی تا حدود ۱۰۰ متر نیز کشیده شده است (شکل۵–ث). از دلایل عدم یکنواختی انتقال ذرات غباری از مبدأ به سمت منطقه مورد مطالعه می‌توان به این مورد اشاره داشت که با توجه به وقوع پدیده در فصل انتقالی بهار هنوز سیستم‌های فشاری عرض‌های شمالی‌تر بر روی خاورمیانه فعال هستند، که این موجب اختلال در عملکرد سیستم پرفشار عرض‌های پائینی‌تر شده است. در نمونه مورد بررسی این اختلال به‌صورت ناپایداری و شکل‌گیری توفان گردوغباری بوده است. در روز دوم ماه می امتداد جریانات گردوغبار بر روی تهران به سبب عمیق‌تر شدن فرودی در عرض‌های پائین تر (۳۵ تا ۳۲ در جه شمالی) می‌باشد (شکل ٦–ب). حرکات شرق سوی این فرود، با ارتفاع ۳۱۲۰ ژئوپتانسیل متر در منطقه سوریه سبب انتقال گردوغبار به تهران شده است. بررسی مدل نشان می‌دهد که در منطقه سوریه در این روز ذرات غباری در ارتفاعات بالای ۱۵۰۰ متری مسیر افقی را طی کرده و انتشار عمودی ناچیزی داشته‌اند و این در حالی است که در هنگام حرکت به سمت شرق با یک جهش عمودی در ساعات پایانی روز در ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متری به تهران منتقل شده‌اند (شکل٦–ث). در روز چهارم می سیستم کم‌فشار، جریانات شمال سو داشته و مرکز آن از ایران فاصله گرفته است. متناسب با آن اثرات این کم‌فشار به عرض‌های شمالی‌تر منتقل شده به‌طوری‌که در این روز سیستم پرفشار تقریباً تمامی ایران را فراگرفته است؛ اما با پیش روی کم‌فشار ضعیفی در شمال مدیترانه؛ زبانه‌های آن منجر به ایجاد شیب فشاری متأثر از جریانات پرفشار عرض‌های پائین تر شده است. این اختلاف فشار باعث افزایش سرعت‌های باد و شکل‌دهی جریاناتی از جنوب غرب به شمال شرق شده که جریانات بر روی ایران جهتی کاملاً شرق سو داشته است (شکل ۷– ب). تحت تأثیر این نوع از جریانات، مشاهده نقشه‌های ردیابی نشان می‌دهد که منشأ غبار تهران از سمت عربستان می‌باشد. ذرات غباری روز چهارم می در مبدأ از لحاظ ارتفاعی به نسبت روزهای دیگر در سطوح پائین تری حرکت خود را به سمت شرق آغاز نموده و در مقصد در ارتفاعات کمتر از ۱۰۰ متر نزول کردند (شکل ۷– ث). عامل اصلی نزول ذرات بر روی ایران کمتر شدن اثر جریانات سیکلونی و حاکمیت بیشتر پرفشار بوده است (شکل ۷– ب).



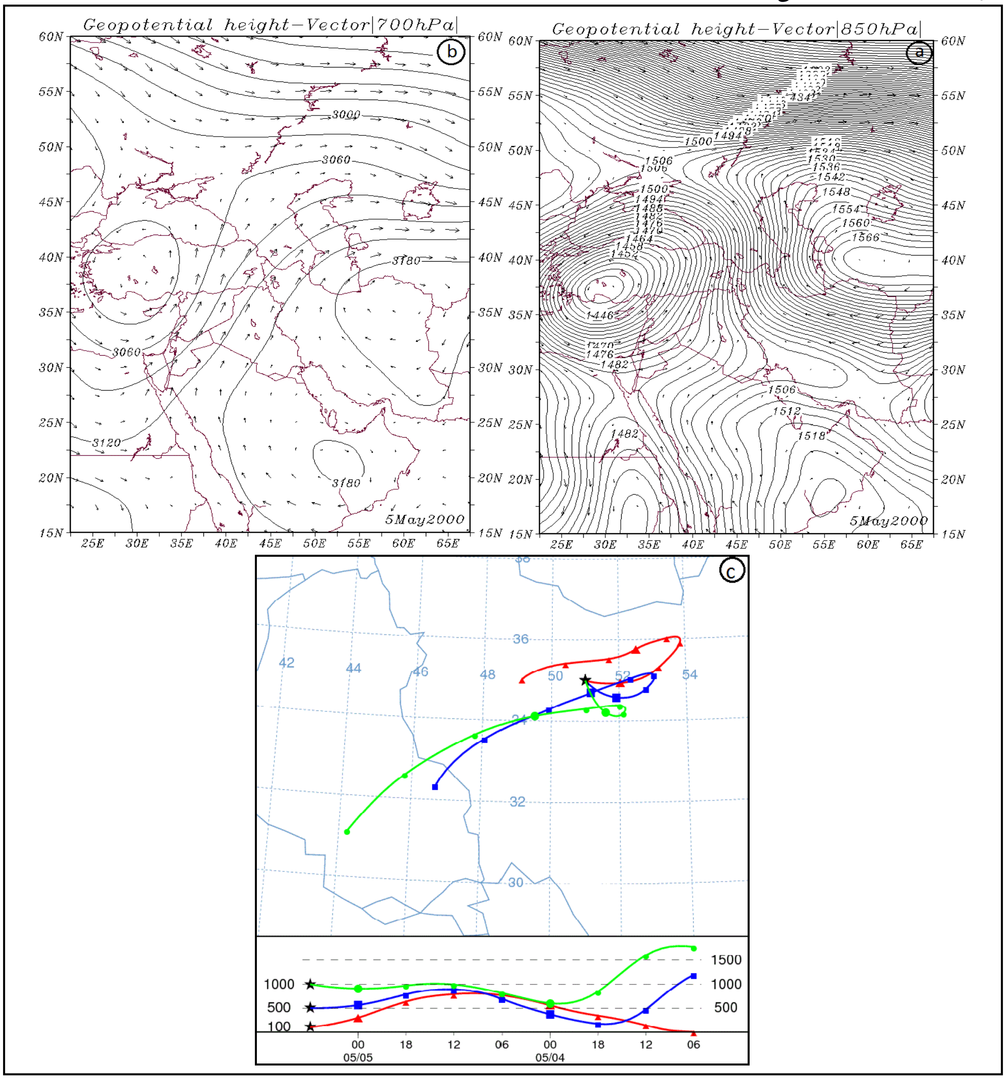
شکل ٦ وضعیت متوسط روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد برداری در روز ۲ می ۲۰۰۰، در دو تراز فشاری ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال (b,a) و نقشه ردیابی ذرات گردوغبار HYSPLIT (c)



شکل ۷ وضعیت متوسط روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد برداری در روز٤ می ۲۰۰۰، در دو تراز فشاری ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال (b,a) و نقشه ردیابی ذرات گردوغبار HYSPLIT (c)

بررسی مسیر حرکت ذرات غبار در روز پایانی وقوع پدیده گردوخاک (پنجم می) بـر روی منطقـه مـورد مطالعـه الگوی متفاوتی را با سایر روزها نشان می‌دهد. در این روز از طرفـی شـاهد انتقـال بخشـی از ذرات بـا منشـأ داخلـی هستیم و از سوی دیگر در طی این مسیر ذرات بر روی ایران دچار چـرخش شـده‌انـد (شـکل ۸-ث(. مرکـز پرفشـار مستقر بر روی عربستان و کم‌فشار شمال مدیترانه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال هم چنـان بـه فعالیـت خـود در ایـن روز ادامه داده و سبب ایجاد اختلاف فشار و بالا رفتن سرعت‌های باد با جهت جنوب غرب- شمال شرق شده اسـت. ایـن

وضعیت نیز مشابه روزهای قبل می‌باشد؛ اما شکل‌گیری و بسته شدن مرکز پرفشاری در قسمت‌های شمال شرق ایران الگوی گردشی خاصی را ایجاد نموده که منجر به حرکت و منشأ یابی بخشی از ذرات گردوغباری بر روی منطقه بوده است. ورود ذرات گردوغبار، تحت تأثیر جریانات آنتی سیکلونی واقع بر روی عربستان و جریانات سیکلونی واقع بر روی مدیترانه حرکت شرق سو به سمت ایران داشته که در اینجا به علت وجود جریانات آنتی سیکلونی (ساعتگرد) ناشی از پرفشار شکل‌گرفته در شمال شرق ایران، ذرات در طول حرکت تغییر مسیر داده و دچار چرخش شده‌اند (شکل ۸–ب). خروجی مدل در روز پنجم مینشان داد که آئروسل‌های منشأ گرفته از داخل ایران در پائین ترین سطوح ارتفاعی نسبت به مسیرهای منشأ گرفته از عراق (بالای ۱۵۰۰ متر تا ایران در کمتر از ۱۰۰۰ متر) انتشار یافتند (شکل ۸۹–ث).



شکل ۸ وضعیت متوسط روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد برداری در روز ۵ می ۲۰۰۰ در دو تراز فشاری ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال (b,a) و نقشه ردیابی ذرات گردوغبار HYSPLIT (c).=

۵. نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق بیانگر آن است که در طول دوره آماری ۱۹۸۱–۲۰۰۵ بیشترین فراوانی وقوع گردوغبار در سال ۲۰۰۰، در فصل بهار و ماه می‌بوده است. فصل بهار در تمام ایستگاه‌های مطالعه شده بیشترین فراوانی رخداد گردوغبار را داشته است. فراوانی‌های وقوع گردوغبار ۲٤ ساله ۵ ایستگاه سینوپتیک نشان داد که ایستگاه آبعلی بیشترین رخداد (۱۰۹ روز) و ایستگاه چیتگر کمترین رخداد (۱۲ روز) را داشته است. ازآنجایی‌که در فصل انتقالی بهار هنوز سیستم‌های فشار عرض‌های شمالی بر روی ایران فعال هستند، بنابراین در مطالعه حاضر که در ماه می صورت گرفته نتایج تحقیق بدون اثر این سیستم‌ها نبوده است. مشاهدات تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در طول دوره بررسی شده نشان داد یکی از سیستم‌های فشاری مؤثر در وقوع گردوغبار و تعیین مسیر آن‌ها پرفشار مستقر بر روی عربستان است که در تمام روزهای غباری مورد مطالعه این سامانه حرکت و جابه‌جایی اندکی داشته و تقریباً به‌صورت یک سیستم دائمی در منطقه بوده است. سیستم فشاری مؤثر دیگر در وقوع گردوغبار تهران، کم‌فشار مستقر در شمال ایران می‌باشد. این سیستم در روزهای یکم و دوم ماه می به همراه تأثیرات پرفشار عربستان در وقوع گردوغبار مؤثر بوده است؛ اما در روزهای چهارم و پنجم ماه می با جابه‌جایی شمال سوی این سامانه، کم‌فشار بریده‌ای بر روی شمال مدیترانه شکل‌گرفته که سبب تأثیراتی بر روی خطوط فشار، سرعت و جهت جریانات شده است. مطالعه مسیرهای انتقال ذرات در خروجی‌های مدل Hysplit نشان داد که به‌طورکلی منابع اصلی غبار بر روی تهران در عرض‌های ۲۵ تا ۳۷ درجه شمالی، محدوده‌ای در حدفاصل عراق، عربستان و سوریه می‌باشد. بررسی ارتفاعی ذرات انتشار یافته نشان می‌دهد ذرات گردوغبار در لایه‌های بالایی به سمت ایران جریان پیدا کرده و در سطوح پائین‌تری به تهران رسیده است. در بررسی سیستم‌های فشاری، ابتدا ذرات گردوغبار توسط سامانه کم‌فشار به ترازهای بالاتر منتقل و به سمت جریانات پرفشار مستقر بر روی منطقه عربستان کشیده شده؛ سپس به سمت زمین نزول کرده است. به‌طورکلی در این بخش بر روی ایران جریانات آنتی سیکلونی حاکمیت بیشتری داشته است.

کتابنامه

اشرفی، خسرو؛ شفیع پور، مجید؛ اصلمند، علیرضا؛ ۱۳۹۰. بررسی مسیرهای طوفان های گرد وغبار بر روی ایران با بکارگیری مدل سازی عددی و تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: جون ۲۰۱۰). اولین کنگره بین المللی پدیده گرد و غبار و مقابله با آثار زیانبار آن. ۲٦ –۲۸ بهمن ۱۳۹۰.

اشرفی، خسرو؛ شفیع پور، مجید؛ اصلمند، علیرضا؛ ۱۳۹۲. بررسی مسیرهای طوفان های گرد وغبار بر روی ایران با بکارگیری مدل سازی عددی و تصاویر ماهواره ای. فصلنامه علمی محیط زیست. شماره ٥٦. ۳–۱۲.

امیدوار،کمال؛ ۱۳۸۵. بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان های ماسه در دشت یزد- اردکان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. دوره ۲۱، شماره ۲. ٤۳–۵۸.

خسروی، محمد؛ نجار سلیقه؛ محمد؛ افراخته، حسن؛ ۱۳۸٤. تاثیرات اکولوژیکی و محیط زیستی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان. پروژه تحقیقاتی موسسه تحقیقات جغرافیایی و علوم زمین دانشگاه سیستان و بلوچستان.

ذوالفقاری،حسن؛ عابدزاده، حیدر؛ ۱۳۸٤. تحلیل سینوپتیک سیستم های گرد و غبار در غرب ایران، مجله جفرافیا و توسعه. شماره ۲، ۱۸۷-۱۷۳.

عباسی، حمیدرضا؛رفیعی امام، عمار؛ روحی پور، حسن؛۱۳۸۷. تحلیل منشاء گرد و غبارهای بوشهر و خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره ای. فصلنامه جنگل و مرتع. شماره ۷۸. ٤۸-۵۱.

عظیم زاده، حمیدرضا؛ اختصاصی، محمدرضا؛ حاتمی، محسن؛ محمداخوان، قالیباف؛۱۳۸۱. مطالعه تاثیر خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک در شاخص فرسایش پذیری بادی خاک و ارایه مدل جهت پیشگویی آن در دشت یزد - اردکان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ایران. شماره۱. ۱۳۹-۱۵۱.

علیجانی،بهلول؛ ۱۳۷٦. آب و هوای ایران. چاپ سوم. انتشاران دانشگاه پیام نورتهران.

لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم، ۱۳۸٦. تحلیل آماری سینوپتیکی توفان های گرد وغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳). پژوهش های جغرافیایی. شماره ٦۵. ۳۳-۱۷.

محمدی مرادیان ،جمیله حسین زاده، رضا؛ ۱۳۹٤. پایش ماهواره ای و تحلیل همدید پدیده ی گرد و غبار در کلان شهر مشهد طی دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۹. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۱٤. ۳۵-۵۷.

مفیدی، عباس؛ جعفری، سجاد؛۱۳۹۰. بررسی نقش گردش منطقه ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان های گرد و غباری تابستانه در جنوب غرب ایران. مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. سال دوم.۱۷-٤۵.

مفیدی،عباس؛کمالی، سمیه؛ زرین، آذر؛۱۳۹۲.ارزیای توان مدل RegCM4 پیوند خورده با طرحواره غبار در آشکار سازی ساختار طوفان های گرد و غباری تابستانه در دشت سیستان.فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای).سال سوم.۵۱-۷۰.

Abdi Vishkaee, F., Flamant, J., Cuesta, P., Flamant & Khalesifard, H.R. (2011). Multiplatform servations of dust vertical distribution during transport over northwest Iran in the summertime. Journal of Geophysical Research. 116, 1-13.

Draxler, R., Stunder, B., Rolph, G., Stein, A., & Taylor, A. (2009). HYSPLIT4 user's guide, Version 4.9. 1-231.

Engelstadler, S. (2001). Dust storm frequencies and their relationships to land surface conditions. Freidrich-Schiller university press, Jena.Germany. 26.

Escudero, M., Stein, A., Draxler, R.R., Querol, X., Alastuey, A., Castillo, S., & Avila, A. (2006). Determination of the contribution of northern Africa dust source areas to PM10 concentrations over the central Iberian Peninsula using the Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model (HYSPLIT) model. Journal of Geophysical Research. 111, D06210doi:10.1029/2005JD006395.

Goudie, A., Mideleton, NJ. (2006). Desert dust in the global system. Springer, Heidelberg. 1-90.

Kutiel, H., Furman H. (2003). Dust Storms in the Middle East: Sources of origin and their temporal characteristics. Indoor Built Environ. 12, 419–426.

Natsagdorj, L., Jugder, D., & Chung, Y.S. (2002). Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937-1999. Atmospheric Environment. 37, 1401-1411.
Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., & Gill, T. E. (2002). Environmental Characterization of Global Sources of Atmospheric Soil Dust Identified With the NIMBUS7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Absorbing Aerosol Product. Journal of American Geophysical Union. 40, 2-31.
Shan, W., Yin, Y., Lu, H., & Liang, S. (2009). A meteorological analysis of ozone episodes using HYSPLIT model and surface data. Atmospheric Research. 93, 767–776.
Wang, W. (2005). A synoptic model on East Asian dust emission and Transport. Atmospheric science and air quality conference, Beijing. China.
Zhao, T.X. P., Ackerman, S., & Guo. W. (2010). Dust and smoke detection for multi- channel imagers. Remote Sensing. 2,. 2347-2368.